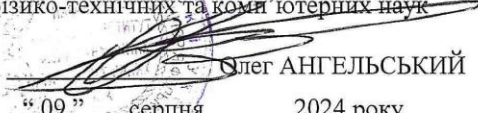


Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико - технічних та комп'ютерних наук
Кафедра термoeлектрики та медичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук

“ 09 ” серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії
(вибіркова)

Освітньо-професійна програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання Українська

Чернівці 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни **«Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії»** складена відповідно до освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали» підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки, затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № 6 від «26» травня 2022 року).

Розробник:

Маник Орест Миколайович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

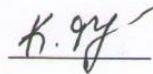
Викладач:

Маник Орест Миколайович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Погоджено з гарантом ОП і затверджено на засіданні кафедри термоелектрики та медичної фізики ННІФТКН ЧНУ імені Юрія Федьковича

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

В.о. завідувача кафедри



Кобилянський Р.Р.

Схвалено методичною радою ННІФТКН

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН



Козярський І.П.

Пояснювальна записка

Мета навчальної дисципліни: надання студентам знань та навичок, необхідних для того, щоб вільно володіти методами та підходами мікроскопічної теорії, для опису роботи термоелементів та адекватного відтворення математичними моделями фізичних процесів, що відбуваються в досліджуваних термоелектричних приладах і матеріалах.

Пререквізити. Для ефективного засвоєння курсу студенти повинні знати курси: загальної фізики, теоретичної фізики, математичної фізики, статистичної фізики та термодинаміки.

Завдання вивчення навчальної дисципліни:

– розкрити фізичну суть явищ, технології синтезу та кристалізації, поліморфних перетворень та фазових діаграм отримуваних матеріалів під впливом різних факторів; проаналізувати вплив цих факторів на властивості матеріалів.

Результати навчання

Відповідно до освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали», вивчення дисципліни «Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії» сприяє формуванню у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти таких *компетентностей*:

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК6. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності (ФК)

ФК1. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.

ФК2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

ФК4. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.

ФК5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

ФК6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

ФК7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти повинні:

знати: основи зонної теорії, статистики електронів і дірок у твердому тілі, розсіювання електронів у кристалах, кінетичні явища та опис термоелектричних ефектів за допомогою кінетичних коефіцієнтів;

вміти: застосовувати отримані знання для побудови зонної структури, фононних спектрів; для розрахунків параметрів міжатомної взаємодії теорії впорядковуваних розплавів.

Вивчення даної навчальної дисципліни забезпечує досягнення здобувачем наступних **програмних результатів навчання (ПРН):**

ПРН1. Знати і розуміти фізичні властивості термоелектричних матеріалів та термоелектричних перетворювачів енергії в режимах охолодження, нагріву і генерування електричної енергії, а також особливості фізичних процесів і явищ в термоелектричних вимірювальних приладах.

ПРН2. Знати методи та засоби проектування оптимальних властивостей термоелектричних матеріалів та пристроїв на їх основі.

ПРН3. Мати теоретичні та практичні навички комп'ютерного моделювання функціональних матеріалів, перетворювачів енергії, теплових насосів, інформаційних та енергетичних систем.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни

Загальна інформація про розподіл годин

Назва навчальної дисципліни Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	4	7	4.0	120	2	30	-	-	30	60	-	екзамен

Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем навчальних занять	Кількість годин					
	денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Мікроскопічні основи перетворення енергії в твердому тілі						
Тема 1. Вступ. Експериментальні та теоретичні передумови виникнення мікроскопічної теорії явищ перетворення енергії	18	4	-	4	-	10
Тема 2. Основи зонної теорії твердого тіла	26	8	-	8	-	10
Тема 3. Статистика електронів і дірок у твердому тілі	20	4	-	4	-	12
Разом за ЗМ 1	64	16	-	16	-	32
Змістовий модуль 2. Кінетичні явища та термоелектричні ефекти у кристалах						
Тема 4. Розсіювання електронів в кристалах	20	6	-	6	-	8
Тема 5. Кінетичні явища	18	4	-	4	-	10
Тема 6. Опис термоелектричних ефектів з допомогою кінетичних коефіцієнтів	18	4	-	4	-	10
Разом за ЗМ 2	56	14	-	14	-	28
Усього годин	120	30	-	30	-	60

Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми лекції
1.	Вступ. Експериментальні та теоретичні передумови виникнення мікроскопічної теорії явищ перетворення енергії
2.	Основи зонної теорії твердого тіла
3.	Статистика електронів і дірок у твердому тілі
4.	Розсіювання електронів в кристалах
5.	Кінетичні явища
6.	Опис термоелектричних ефектів з допомогою кінетичних коефіцієнтів

Тематика лабораторних занять з переліком питань

№	Назва теми (завдання)
1.	Дослідження енергетичного спектру в кристалах методом зонної теорії
2.	Дослідження температурної залежності концентрації носіїв струму у власному напівпровіднику
3.	Статистика електронів і дірок в домішкових напівпровідниках
4.	Дифузія і дрейф носіїв струму
5.	Гальваномагнітні ефекти

6.	ТермоЕРС в напівпровідниках
7.	Контактні і термоелектричні явища.
8.	Поверхневі явища

Завдання для самостійної роботи студентів

№	Завдання для самостійної роботи (види роботи)
1.	Методи розрахунку зонної структури в кристалах термоелектричних матеріалів
2.	Густина станів для квадратичного закону дисперсії при скалярній та тензорній ефективній масі
3.	Механізми рекомбінації носіїв заряду в напівпровідниках
4.	Біполярна дифузія
5.	Дебаївська довжина екранування
6.	Вплив поверхневих станів на контактні явища
7.	Метод деформаційного потенціалу
8.	Температурні залежності рухливості заряду для різних механізмів розсіювання

Контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за конкретний модуль.

Методи навчання

Методи навчання:

лекції: проблемний виклад, частково-пошукові та дослідницькі методи, презентації, бесіди і дискусії;

лабораторні заняття: метод проблемного, дослідницький метод;

самостійна робота студентів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; проведення розрахунків та підготовку звітів з лабораторних робіт.

Інтерактивні методи навчання: застосуванням електронних мультимедійних комплексів навчальних дисциплін та ресурсів, а також платформи для дистанційного навчання Moodle (<https://moodle.chnu.edu.ua>).

Форми навчальних занять: лекції, лабораторні заняття, самостійна робота, консультації.

Система контролю та оцінювання

Методи контролю

У процесі оцінювання навчальних досягнень застосовуємо методи усного і письмового контролю, зокрема такі **засоби оцінювання** та демонстрування результатів навчання:

- *засоби усного контролю:* індивідуальне опитування, фронтальне опитування, презентації результатів виконаних завдань;
- *засоби письмового контролю:* контрольні роботи, тестування, самостійні роботи, виконання лабораторних завдань;
- *засоби самоконтролю:* уміння самостійно оцінювати свої знання, самоаналіз.

У разі проведення навчального процесу та оцінювання у дистанційній формі використовуються засоби Moodle (у тому числі тестування; <https://moodle.chnu.edu.ua>).

Система оцінювання знань є накопичувальною (складається із суми балів за різними видами здійсненого контролю).

Форми контролю

Основними формами поточного контролю є:

- усні відповіді студентів;
- виконання тестових завдань з метою перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу за навчальними темами;
- усна відповідь студента при здачі лабораторної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи (тестування та розв'язання навчально-

професійних задач).

Зазначені форми контролю на лекційних та лабораторних заняттях є обов'язковими для всіх студентів.

Форма підсумкового контролю – екзамен.

Критерії оцінювання поточного та підсумкового контролю навчальних досягнень студентів

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю

Критеріями оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю є:

- Знання теоретичного матеріалу
- Практичні навички
- Самостійність і критичне мислення
- Якість виконання завдань
- Активність на заняттях
- Дотримання термінів виконання завдань
- Академічна доброчесність

Розподіл балів, які отримують студенти за модулі

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)		Кількість балів (екзамен)	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
T1, T2, T3	T4, T5, T6		
30	40	30	100

T1, T2, T3, T4, T5, T6 – теми змістових модулів.

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання студентів з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення студентом певних знань передбаченим результатом навчання, коли студент опанував теоретичними та практичними знаннями навчальної дисципліни.

На екзамен виносяться питання теоретичних знань і практичних навиків студентів з навчальної дисципліни. Екзаменаційні білети містять два теоретичних питання і одну практичну задачу.

Теоретичні питання (пункт 1 і 2 білетів) оцінюються максимальною кількістю балів рівною 15 за наступними критеріями:

- ◆ **13-15 балів:** коли студентом дані правильні вичерпні відповіді на всі поставлені запитання, уміло застосовані теоретичні знання, висвітлені питання не за завченою схемою, а своїми словами, з глибоким розумінням основ зонної теорії, статистики електронів і дірок у твердому тілі, розсіювання електронів у кристалах, кінетичні явища і способи описання термоелектричних ефектів з допомогою кінетичних коефіцієнтів
- ◆ **9-12 балів:** коли студентом дані правильні відповіді на всі поставлені запитання, але відповіді не зовсім повні, в окремих випадках допущені незначні неточності у формулюванні закономірностей чи у записах аналітичних виразів, окремі моменти не дістали належного з'ясування.
- ◆ **6-8 балів:** коли відповідь студента правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки у поясненні основ зонної теорії.
- ◆ **0-5 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто

поверхові, непослідовні і неточні, виявляють незнання студентом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основ зонної теорії.

Практичне завдання (пункт 3 білетів, тобто задача) оцінюються максимальною кількістю балів рівною 10 за наступними критеріями:

- ◆ **10 балів** – Розв’язок повністю правильний, обґрунтований, оформлений логічно й структуровано. Виконані всі необхідні пояснення, формули застосовані коректно, числовий результат точний.
- ◆ **8–9 балів** – Загалом правильне розв’язання, але є незначні неточності (наприклад, арифметичні помилки або не дуже чітке обґрунтування деяких кроків). Вплив цих помилок на кінцевий результат мінімальний.
- ◆ **6–7 балів** – Основна ідея та метод розв’язку правильні, але є кілька помітних помилок у викладенні, обчисленнях або використанні формул. Відповідь може бути частково правильною.
- ◆ **4–5 балів** – Присутня спроба розв’язати задачу з правильним підходом, але є серйозні помилки або пропуски в розрахунках. Висновки не завжди обґрунтовані.
- ◆ **2–3 бали** – Невірний підхід або значні помилки у використанні фізичних законів. Відповідь неправильна, але є хоча б частково доречні спроби аналізу.
- ◆ **1 бал** – Слабка спроба розв’язання без розуміння суті задачі, випадкові або неправильні формули без логічного пояснення.
- ◆ **0 балів** – Відсутність розв’язку або відповідь не має жодного відношення до задачі.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Рейтингова оцінка з дисципліни	Оцінка за шкалою ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	Залік за національною шкалою
90-100	A	5 (відмінно)	Зараховано
80-89	B	4 (добре)	
70-79	C	4 (добре)	
60-69	D	3 (задовільно)	
50-59	E	3 (задовільно)	
35-49	Fx	2 (незадовільно) з можливістю повторного складання	Не зараховано
1-34	F	2 (незадовільно) з обов'язковим самостійним повторним опрацюванням освітнього компонента до перескладання	

Критерії підсумкової оцінки як показника результатів вивчення навчальної дисципліни

Згідно шкали ЄКТС загальна кількість балів, яку студент може отримати у процесі вивчення дисципліни, становить 100 балів, з яких 70 балів студент набирає при поточних видах контролю і 30 балів – у процесі підсумкового контролю (екзамен).

Таким чином знання студентів оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки за такими критеріями:

«А» 90-100 балів ставиться	– постійно готувався до занять та згідно з програмою дисципліни; – глибоко та всебічно розкривав зміст питань; – показав уміння формулювати висновки, узагальнювати та аналізувати навчальний матеріал; – показав уміння вільно виконувати завдання; – переконливо та логічно викладав матеріал, проявляв творчий підхід до
---	---

у разі, якщо студент:	виконання лабораторних завдань; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
«В» 80-89 балів ставиться у разі, якщо студент:	– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі лабораторні роботи; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував додаткову літературу; – при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності; – не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.
«С» 70-79 балів ставиться у разі, якщо студент:	– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – формулював висновки з окремих питань лабораторних занять; – брав участь у виконанні лабораторних завдань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та лабораторних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання лабораторних робіт.
«D» 60-69 ставиться у разі, якщо студент:	– відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – формулював висновки з окремих питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав лабораторних завдання; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну лабораторну роботу.
«E» 50-59 балів ставиться у разі, якщо студент:	– відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – виконував окремі завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі лабораторні роботи; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.
«Fx» 35-49 балів ставиться у разі, якщо студент:	– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – частково виконав завдання для самостійної роботи; – не проявляв активності на лабораторних заняттях; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував лабораторні роботи; – не виконав завдання модульного контролю.
«F» 1-34 балів ставиться	– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях, тестуванні; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – не виконав завдання для самостійної роботи; – не виконав лабораторне завдання;

у разі, якщо студент:	– на підсумковому занятті не вміє відтворити зміст окремих питань, передбачених програмою дисципліни; – не виконав завдання модульного контролю.
-----------------------------	---

Перелік питань для самоконтролю та контролю навчальних досягнень студентів з навчальної дисципліни

Питання для поточного контролю

Модуль 1

1. Проаналізувати етапи розвитку теорії термоелектричних явищ, її структуру та логіко-методологічні принципи.
2. Визначити характерні риси та особливості мікроскопічної теорії явищ перетворення енергії.
3. Обґрунтувати переваги і недоліки основних положень теорії електронної провідності.
4. Проаналізувати основні співвідношення теорії Друде-Лоренда.
5. Проаналізувати основи зонної теорії.
6. Дати оцінку періодичного поля ґратки, оператора трансляції.
7. Визначити вихідні положення зонної теорії.
8. Дати оцінку загальної постановки задачі в наближенні зонної теорії.
9. Проаналізувати наближені методи розв'язку рівняння Шредінгера для кристалу.
10. Визначити ефективну масу носіїв струму на основі зонної теорії.
11. Дати оцінку адіабатичного наближення в зонній теорії.
12. Дати оцінку одноелектронного наближення в зонній теорії.
13. Обґрунтувати визначення прямої та оберненої ґратки кристалу в зонній теорії твердого тіла.
14. Обґрунтувати визначення квазіімпульса в зонній теорії.
15. Дати оцінку визначення зони Бріллюена в зонній теорії твердого тіла.
16. Обґрунтувати визначення оберненої ефективної маси та ізоенергетичної поверхні в кристалах.
17. Проаналізувати моделі зон в металах, напівпровідниках та діелектриках.
18. Дати оцінку наближенню слабо зв'язаних електронів в зонній теорії.
19. Проаналізувати залежність енергії від квазіімпульсу в наближенні слабозв'язаних електронів в зонній теорії.
20. Проаналізувати вид хвильової функції в рамках адіабатичного і одноелектронного наближень при розв'язанні рівнянь Шредінгера для електрона в кристалі.
21. Проаналізувати як впливає ідеальна ґратка на рух електрона в кристалі.
22. Обґрунтувати визначення зон Бріллюена та правила їх побудови.
23. Дати визначення закону дисперсії та проаналізувати його геометричне представлення.
24. Проаналізувати зв'язок ефективної маси з кривизною ізоенергетичної поверхні, швидкістю і квазіімпульсом.
25. Показати, що для гранецентрованої кубічної ґратки оберненою є об'ємноцентрована кубічна ґратка і навпаки.
26. Обґрунтувати класифікацію речовин по величині і температурній залежності провідності.
27. Дати визначення і обґрунтувати контактні явища в напівпровідниках.
28. Дати визначення і проаналізувати граничні умови Борна-Кармана.
29. Проаналізувати визначення періодичного поля ґратки кристалу, хвиль Блоха та хвиль де-Бройля.
30. Побудувати графічно перші чотири зони Бріллюена для двомірної простої прямокутної ґратки з міжатомними віддальми a і $b=3a$.

Модуль 2

1. Проаналізувати функцію розподілу та функцію густини станів для електронів і дірок для випадку сферичних ізоенергетичних поверхонь.
2. Проаналізувати функцію розподілу та функцію густини станів для електронів і дірок для випадку еліпсоїдальних ізоенергетичних поверхонь.
3. Вивести формулу для обчислення концентрації електронів в зоні провідності та дірок у

- валентній зоні.
4. Виходячи з рівняння нейтральності отримати формулу для обчислення концентрації електронів і дірок на домішкових рівнях.
 5. Отримати залежність рівня Фермі від температури для випадку власного напівпровідника.
 6. Отримати залежність рівня Фермі від температури для випадку домішкового напівпровідника.
 7. Проаналізувати статистику електронів і дірок у твердому тілі для випадку домішкового напівпровідника при низьких температурах.
 8. Проаналізувати статистику електронів і дірок у твердому тілі для випадку домішкового напівпровідника при високих температурах.
 9. Проаналізувати густину станів для електронів і дірок у магнітному полі.
 10. Проаналізувати вид функції густини станів для квадратичного закону дисперсії у випадку скалярної та тензорної ефективної маси.
 11. Обґрунтувати поняття про ефективний переріз розсіювання.
 12. Отримати зв'язок ефективного перерізу розсіювання з часом релаксації.
 13. Обґрунтувати описання теплових коливань атомів ґратки і розсіювання носіїв заряду на теплових коливаннях атомів ґратки.
 14. Дати оцінку основних типів центрів розсіювання.
 15. Дати оцінку розсіювання носіїв заряду на іонах домішки, нейтральних центрах, атомах домішки та дислокаціях.
 16. Дати оцінку температурної залежності рухливості носіїв заряду для різних механізмів розсіювання.
 17. Дати оцінку залежності часу релаксації від зовнішніх полів.
 18. Обґрунтувати відхилення від закону Ома.
 19. Отримати кінетичне рівняння Больцмана.
 20. Обґрунтувати описання кінетичних явищ в напівпровідниках в наближенні часу релаксації.
 21. Отримати вираз нерівноважної вектор-функції розподілу в наближенні скалярної ефективної маси.
 22. Отримати вираз нерівноважної вектор-функції розподілу в наближенні тензорної ефективної маси.
 23. Отримати вираз для густини електричного струму.
 24. Отримати вираз для густини потоку енергії.
 25. Проаналізувати кінетичні явища в напівпровідниках. Отримати вираз для кінетичних коефіцієнтів у випадку скалярної ефективної маси.
 26. Проаналізувати розрахунок тензора кінетичного коефіцієнта у випадку, коли ефективна маса – тензор другого рангу.
 27. Проаналізувати розрахунок тензора провідності у випадках однодоменної та багатодоменної моделі.
 28. Дати оцінку описанню термоелектричних явищ з допомогою кінетичних коефіцієнтів.
 29. Проаналізувати розрахунок коефіцієнтів термоЕРС (α), Томсона (τ), Пельтьє (Π) для напівпровідників, що описуються одно- та багатодоменною моделлю.
 30. Обґрунтувати описання термомагнітних явищ та ефектів з допомогою кінетичних коефіцієнтів.
 31. Дати оцінку механізмів виникнення термомагнітних явищ та ефектів.
 32. Дати оцінку термоелектричних властивостей аморфних матеріалів.
 33. Дати оцінку особливостей термоелектричних властивостей металів і металічних сплавів.

Питання для підсумкового контролю

1. Етапи розвитку теорії термоелектричних явищ, її структура та логіко-методологічні принципи.
2. Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії. Характерні риси та особливості.
3. Зонна теорія. Вихідні положення.
4. Загальна постановка задачі в наближенні зонної теорії.
5. Адіабатичне наближення.
6. Одноелектронне наближення.

7. Основи зонної теорії твердого тіла. Пряма та обернена ґратка кристалу.
8. Оператор трансляції.
9. Швидкість та прискорення носіїв заряду.
10. Ефективна маса електрона.
11. Квазіімпульс.
12. Обернені ефективні маси та ізоенергетичні поверхні в кристалах.
13. Основи зонної теорії. Наближення слабозв'язаних електронів.
14. Основи зонної теорії. Наближення сильнозв'язаних електронів.
15. Методи розрахунку зонної структури (плоских хвиль; ортогоналізованих плоских хвиль; приєднаних плоских хвиль; псевдо потенціалу; ККР або варіаційний метод).
16. Зонна структура Кремнію, Германію, Bi_2Te_3 та твердих розчинів на їх основі.
17. В чому зміст адіабатичного і одно електронного наближень при розв'язанні рівняння Шредінґера для електрона в кристалі? Вид хвильової функції і енергії в рамках цих наближень. Що розуміють під ідеальною кристалічною ґраткою? Як ідеальна ґратка діє на рух електрона по кристалу?
18. Що таке зона Бріллюена? Правила побудови зони Бріллюена.
19. Закон дисперсії. Основні властивості закону дисперсії для електрона в кристалі. Геометричне представлення закону дисперсії.
20. Зв'язок ефективної маси з кривизною ізоенергетичної поверхні, швидкістю і квазіімпульсом.
21. Суть наближення майже вільних і майже зв'язаних електронів. Які основні висновки можна зробити із розв'язку рівняння Шредінґера цими методами?
22. Поняття напівпровідника, металу, діелектрика в зонній теорії.
23. Пояснити хід температурної залежності металу і напівпровідника.
24. Що таке власний напівпровідник? Яка енергія активації власного напівпровідника? Чи може домішковий напівпровідник володіти власною провідністю?
25. Основні положення теорії електронної провідності. Переваги і недоліки цієї теорії.
26. Яку інформацію можна отримати із вимірювань ефекту Холла? Як відхиляються електрони і дірки?
27. Основні співвідношення теорії Друде-Лоренца.
28. Що таке основні і неосновні носії заряду?
29. Статистика електронів і дірок у твердому тілі. Густина станів (для різних ізоенергетичних поверхонь).
30. Статистика носіїв струму у твердому тілі. Концентрація електронів і дірок.
31. Статистика електронів і дірок у твердому тілі. Рівняння нейтральності.
32. Статистика електронів і дірок. Власний напівпровідник.
33. Статистика електронів і дірок. Домішковий напівпровідник (низькі та високі температури).
34. Кінетичне рівняння Больцмана.
35. Кінетичні явища в напівпровідниках. Час релаксації (скалярна та тензорна ефективні маси).
36. Густина електричного струму та густина потоку енергії.
37. Кінетичні коефіцієнти (скалярна та тензорна ефективні маси).
38. Кінетичні коефіцієнти (невироджений та вироджений напівпровідник).
39. Термоелектричні явища та їх описання на основі кінетичного рівняння.
40. Теорія розсіювання носіїв заряду. Ефективний переріз розсіювання.
41. Теорія розсіювання носіїв зряду. Диференціальний та інтегральний ефективні перерізи розсіювання. Теорія розсіювання. Основні типи центрів розсіювання (привести їх характеристики).
42. Теорія розсіювання. Зв'язок часу релаксації з ефективним перерізом.
43. Теорія розсіювання. Розсіювання на іонах домішки; нейтральних атомах та на коливаннях ґратки.
44. Методи підвищення добротності напівпровідникових термоелектричних матеріалів.
45. Методи керування властивостями термоелектричних матеріалів.
46. Термоелектричні властивості напівпровідників.
47. Рівняння Шредінґера для кристалу та наближені методи його розв'язку.

48. Який вид функції густини станів для квадратичного закону дисперсії: а) при скалярній ефективній масі; б) при тензорній ефективній масі?
49. Дайте графічну ілюстрацію виразів для концентрації електронів і дірок у випадку виродженого та невиродженого напівпровідника p - та n - типу.
50. Що таке інтеграл Фермі порядку $1/2$ і як можна наближено його розрахувати?
51. Як підрахувати ефективне число станів в дозволених зонах?
52. Запишіть і поясніть зміст рівнянь електронейтральності в загальному випадку.
53. Чим відрізняється розподіл носіїв заряду по станах в дозволених зонах і на домішкових рівнях? Що враховує фактор виродження в функції розподілу?
54. Проілюструйте графічно температурну залежність концентрації носіїв заряду а) власного напівпровідника; б) донорного напівпровідника з одним типом донорної домішки; в) акцепторного; г) частково компенсованого при різних степенях компенсації домішок.
55. Чим визначається контактна різниця потенціалів між металом і напівпровідником? Що таке p - n перехід? ВАХ p - n переходу?
56. Які термоелектричні явища ви знаєте? В чому їх фізичний зміст?
57. Як проявляється дія магнітного поля на рух носіїв заряду? Як змінюється вираз для густини струму при накладанні на зразок магнітного поля?
58. Як можна описати електропровідність кристалу в рамках методу кінетичного рівняння Больцмана? Чому електропровідність в загальному випадку є анізотропною величиною? Механізми переносу тепла.
59. Поясніть суть термомагнітних явищ.
60. Чому може порушуватись закон Ома в сильних електричних полях? Які ефекти в напівпровідниках приводять до порушення закону Ома?

Зарахування результатів неформальної освіти

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол № 109 від 28 березня 2022 року) (<https://www.chnu.edu.ua/media/3aykf41y/polozhennia-pro-vzaiemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf>) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

Рекомендована література

Основна література

1. Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії: лабораторний практикум / укл. Маник О.М. – Чернівці: Чернівецьк. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. – 95 с.
2. Anatyshuk L.I. Physics of Thermoelectricity. – Kyiv, Chernivtsi. – 2001. – Vol. 2. 370 p.
3. Поплавко Ю.М., Ільченко В.І., Воронков А.О., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. Част. 4 : навч. посібник. Київ, вид-во «Політехніка», 2010. 342 с.
4. Болеста І. Фізика твердого тіла. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2003. 480 с.
5. Воловик П. М. Фізика для університетів. Урнінь : Перун, 2005. 846 с.
6. Третяк О. В., Лозовський В. З. Основи фізики напівпровідників : підручник. Том 1. Київ : Видавничо-поліграфічний центр, Київський університет, 2017. 338 с.

Додаткова література

1. Маник О.М., Маник Т.О., Білинський-Слотило В.Р. Особливості електронної будови гібридних орбіталей і міжатомної взаємодії в кристалах антимоніду кадмію // Термоелектрика – 2016. – №5. – С. 62-70.
2. Матеріалознавство та технологія матеріалів. Конспект лекцій /Уклад. Т.М. Курська, Г.О. Чернобай, С.Б. Єрьоменко. – Х.: УЦЗУ, 2008. – 136 с.
3. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта. – 2012. – с 548.

Політика щодо академічної доброчесності

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

«Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»
[etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf](#)

«Положення про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університету імені Юрія Федьковича» [polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu 2024.pdf](#)

Дотримання академічної доброчесності передбачає:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);
- посилання на джерела інформації у разі використання не авторських ідей, розробок, тверджень, відомостей і т.п.;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про результати власної наукової діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

- академічний плагіат – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства;
- фабрикація – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в наукових дослідженнях;
- фальсифікація – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються наукових досліджень.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнені до такої академічної відповідальності:

- повторне проходження оцінювання (модульний контроль, іспит, залік тощо);
- повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньої програми.